

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号:

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 基于两轴快刀伺服平台的微结构表面加工 控制与误差分析

Processing Control and Error Analysis of Microstructure  
Surface Based on 2-axis FTS Platform

吴海韵

指导教师姓名: 王 振 忠 副 教 授

专 业 名 称: 机 械 工 程

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩时间: 2015 年 \_\_\_\_月

学位授予日期: 2015 年 \_\_\_\_月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2015 年 04 月

基于两轴快刀伺服平台的微结构表面加工控制与误差分析

吴海韵

指导老师

王振忠副教授

厦门大学

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(厦门大学微纳米加工与检测)课题(组)的研究成果,获得(厦门大学微纳米加工与检测)课题(组)经费或实验室的资助,在(厦门大学微纳米加工与检测)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘 要

微结构表面是指面形精度达到亚微米级且具有特定功能的微小表面，其主要的特征在于结构的功能性，如微结构表面光学元件的表面结构决定了对光线的反射、折射或衍射性能，便于优化光学系统，减轻重量，缩小体积，因此在国防科技领域和民用工业领域都体现出重要的应用价值和广阔应用前景。近年来，国内外对微结构表面制造技术的研究不断深入，其中基于快刀伺服（FTS）的超精密车削技术以其高频响、高定位精度和高加工精度等特点，逐渐成为微结构表面车削加工的主流技术之一。目前快刀伺服加工主要的研究方向是通过提高快刀伺服加工机床的运动精度来提高微结构表面加工精度，但是该方法对设备要求高、成本大，在现有制造技术水平条件下，基于机床特性的误差补偿方式对提高微结构表面加工精度更加可行且具有实际意义。因此，本文研究了基于两轴快刀伺服平台的微结构表面加工控制与误差补偿，主要内容如下：

1、快刀伺服平台的搭建：完成对快刀伺服刀架的设计，机床机械结构和电气结构的设计，对加工平台进行性能测试并加以优化，同时开发了集加工路径规划和加工控制于一体的典型微结构表面加工软件；

2、微结构面型加工路径规划：完成对透镜阵列、菲涅尔透镜以及正弦网格三种典型微结构的面型计算以及加工路径规划；

3、微结构面型加工实验：完成对透镜阵列、菲涅尔透镜和正弦网格三种典型微结构面型的实验加工，从而验证了本文所研究的典型微结构面型加工路径规划的正确性，并初步分析了快刀伺服平台所存在的误差；

4、机床运动误差补偿：分别从理论上和实验上完成了对快刀伺服平台所存在的各轴误差的分离，并将各轴误差补偿至透镜阵列加工程序中，使得透镜阵列的平均加工误差从  $40\mu\text{m}$  降到  $25\mu\text{m}$  左右，从而验证了机床运动误差理论性分离及误差补偿加工的可行性。

**关键词：**微结构；FTS；加工路径规划；机床误差补偿；

厦门大学博硕士论文摘要库

## Abstract

Microstructure surface refers to the Mini-surface in sub-micron form accuracy level and having a specific function, which characterized in functional structure, for example, microstructure surface of optical component determines reflection, refraction and diffraction of light and optimizes optical system by reducing weight and size. And therefore it plays an important role in the field of both national defense and general industry. In recent years, researches on the manufacturing technology of microstructure surface attract more and more attention and the ultra-precision turning technology based on Fast Tool Servo (FTS) becoming one of the main technologies in processing microstructure surface for its high frequency response and high precision. Currently, most researches try to improve the surface precision of microstructure by improving the Fast Tool Servo motion precision, but it needs high requirement for the equipment and high cost. From the above, it's believed that improving the surface precision of microstructure by error compensation which based on characteristic of machine is the most practical way, especially under the current conditions of manufacturing technology. This paper aims to research the processing control and error analysis of microstructure surface based on 2-axis FTS platform and its main contents are listed as follows:

- 1、 To build the FTS platform: Firstly, the FTS feeding mechanism, mechanical structure and electric control system of the machine tool were designed; then, performance of the processing platform was tested and optimized. Besides, software was developed to process typical micro-structure surface and it includes both the part of machining path planning and processing control;
- 2、 To plan the machining path of microstructure surface: Completed the surface calculation and machining path planning for lens array, Fresnel lens and sinusoidal grid surface;
- 3、 Experiments on processing microstructure surface: through the processed of lens array, Fresnel lens and sinusoidal grid surface, it was verified that the method of machining path planning for microstructure surface is valid.

Besides, preliminary analysis of the errors that exist in FTS platform was provided;

- 4、 To compensate the machine tool motion error: It was separated the geometric error from each motion axis through theoretical calculation and experimental measurement respectively, then compensated the error to NC program to process lens array. It is found that the machining error was decreased from 40 $\mu\text{m}$  to 25 $\mu\text{m}$ , which verified the method of error compensation is effective.

**Keyword:** Microstructure; FTS; Machine Path Planning; Error Compensation



# 目 录

<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 课题研究背景和意义.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 实现微结构表面车削加工的方式.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 飞切加工技术.....	2
1.2.2 慢刀伺服加工技术.....	4
1.2.3 快刀伺服加工技术.....	6
1.2.4 三种加工方式的特点比较.....	7
<b>1.3 快刀伺服加工技术国内外研究现状.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 本文主要研究内容 .....</b>	<b>11</b>
<b>第二章 两轴快刀伺服平台搭建 .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 两轴快刀伺服平台总体方案.....</b>	<b>13</b>
2.1.1 快刀伺服刀架设计.....	13
2.1.2 快刀伺服平台设计.....	15
2.1.3 电气设计.....	17
<b>2.2 典型微结构表面加工控制软件开发.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 快刀伺服平台的调试及初步误差分析测试.....</b>	<b>23</b>
2.3.1 移动进给轴性能分析.....	23
2.3.2 主轴性能分析.....	24
2.3.3 快刀轴性能分析.....	26
<b>2.4 本章小结 .....</b>	<b>29</b>
<b>第三章 典型微结构面型生成方法 .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 透镜阵列 .....</b>	<b>33</b>
3.1.1 透镜阵列面型计算方法.....	33
3.1.2 透镜阵列加工刀具补偿.....	34
3.1.3 透镜阵列加工路径算例.....	37

3.2 菲涅尔透镜 .....	38
3.2.1 菲涅尔透镜面型计算方法 .....	39
3.2.2 菲涅尔透镜加工刀具补偿 .....	42
3.2.3 菲涅尔透镜加工路径算例 .....	44
3.3 正弦网格面型 .....	45
3.3.1 正弦网格面型计算方法 .....	46
3.3.2 正弦网格加工刀具补偿 .....	46
3.3.3 正弦网格加工路径算例 .....	47
3.4 本章小结 .....	48
<b>第四章 微结构面型加工实验 .....</b>	<b>49</b>
4.1 透镜阵列面型加工 .....	51
4.2 菲涅尔透镜面型加工 .....	54
4.3 正弦网格微结构面型加工 .....	56
4.4 实验结果分析 .....	63
4.5 本章小结 .....	64
<b>第五章 机床运动误差分析及补偿加工 .....</b>	<b>65</b>
5.1 机床运动误差理论性分离 .....	66
5.1.1 机床运动误差理论性分离原理 .....	66
5.1.2 机床运动误差分离过程 .....	67
5.2 机床运动误差实验性分离 .....	70
5.2.1 滑轨不垂直度误差测量 .....	71
5.2.2 主轴误差测量 .....	72
5.2.3 快刀轴误差测量 .....	73
5.3 误差补偿加工实验 .....	74
5.4 本章小结 .....	75
<b>第六章 总结和展望 .....</b>	<b>77</b>
6.1 总结 .....	77

6.2 展望 .....	78
参考文献 .....	79
致 谢 .....	85
硕士期间科研成果 .....	86

厦门大学博士论文摘要库

厦门大学博硕士论文摘要库

# Contents

<b>Chapter1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Significance of Project .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Microstructure Machining Methods.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Fly-Cutting.....	2
1.2.2 Slow Tool Servo.....	4
1.2.3 Fast Tool Servo .....	6
1.2.4 Comparison of The Three Machining Methods.....	7
<b>1.3 Literature Review On FTS Processing Technology .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Outline of The Thesis.....</b>	<b>11</b>
<b>Chapter2 Building of The 2-Axis FTS Platform.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Scheme of The 2-Axis FTS Platform .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Design of FTS Feeding Mechanism .....	13
2.1.2 Design of Mechanical Structure of 2-Axis FTS Platform .....	15
2.1.3 Design of Electric Control System .....	17
<b>2.2 Development of Software .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Performance Testing of The FTS Platform and Error Analysis .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Performance Testing of Feed Shaft.....	23
2.3.2 Performance Testing of Spindle.....	24
2.3.3 Performance Testing Of FTS Feeding Mechanism.....	26
<b>2.4 Summary .....</b>	<b>29</b>
<b>Chapter3 Reserch On The Machining Path of Typical Microstructure</b>	
<b>Surface .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Lens Array.....</b>	<b>33</b>

3.1.1 Surface Calculation of Lens Array .....	33
3.1.2 Tool Compensation of Lens Array .....	34
3.1.3 Example of The Machining Path of Lens Array .....	37
<b>3.2 Fresnel Lens .....</b>	<b>38</b>
3.2.1 Surface Calculation of Fresnel Lens .....	39
3.2.2 Tool Compensation of Fresnel Lens .....	42
3.2.3 Example of The Machining Path of Fresnel Lens.....	44
<b>3.3 Sinusoidal Grid Surface .....</b>	<b>45</b>
3.3.1 Surface Calculation of Sinusoidal Grid Surface .....	46
3.3.2 Tool Compensation of Sinusoidal Grid Surface .....	46
3.3.3 Example of The Machining Path of Sinusoidal Grid Surface.....	47
<b>3.4 Summary .....</b>	<b>48</b>
<b>Chapter4 Experiments on Processing Microstructure Surface.....</b>	<b>49</b>
4.1 Lens Array Processing .....	51
4.2 Fresnel Lens Processing .....	54
4.3 Sinusoidal Grid Surface Processing.....	56
4.4 Analysis of Experimental Results .....	63
4.5 Summary .....	64
<b>Chapter5 Analysis of Machine Tool Motion Error and Error</b>	
<b>Compensation.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1 Machine Tool Motion Error Separated by Theoretical Calculation.....</b>	<b>66</b>
5.1.1 Principle of Theoretical Calculation of Machine Tool Motion Error .....	66
5.1.2 Process of Theoretical Calculation of Machine Tool Motion Error.....	67
<b>5.2 Machine Tool Motion Error Separated by Experimental Measurement ....</b>	<b>70</b>
5.2.1 Vertical Error Measurement .....	71
5.2.2 Spindle Error Measurement .....	72
5.2.3 Error Measurement of FTS Feeding Mechanism.....	73

5.3 Experiments on Error Compensation .....	74
5.4 Summary .....	75
<b>Chapter6 Conclusions and Prospects.....</b>	<b>77</b>
6.1 Conclusions .....	77
6.2 Prospects.....	78
<b>Reference.....</b>	<b>79</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>85</b>
<b>Achievement .....</b>	<b>86</b>

厦门大学博硕士论文摘要库



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.